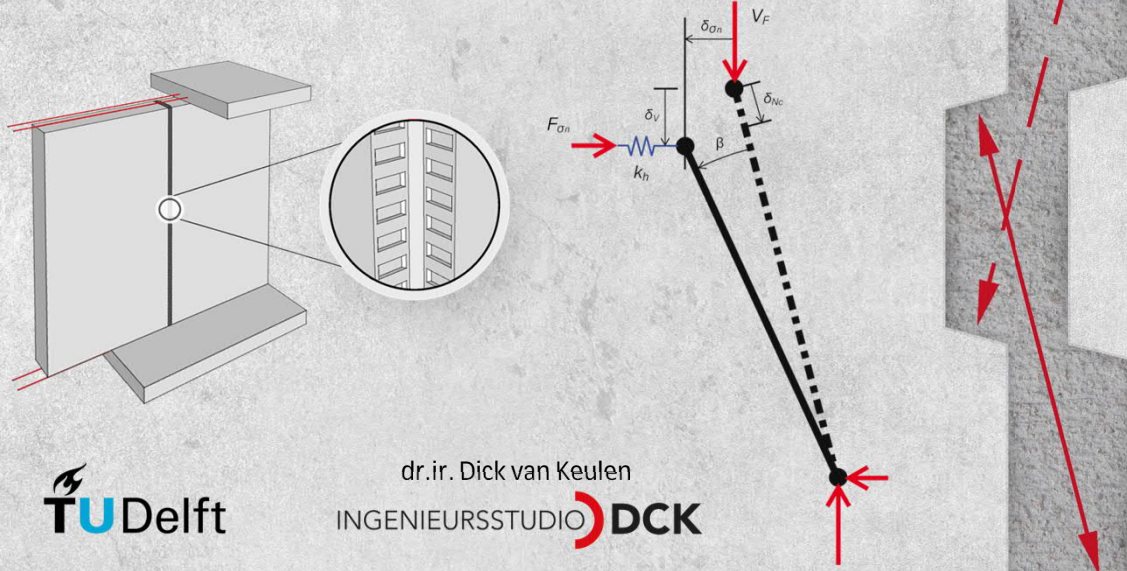


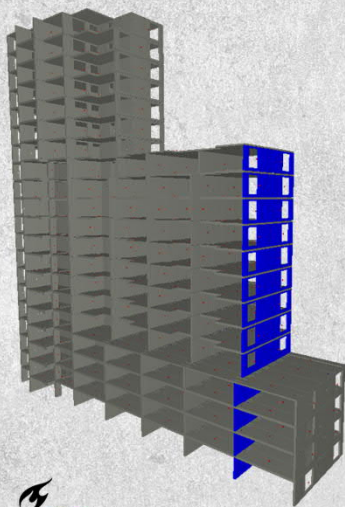
NARROW VERTICAL MORTAR CONNECTIONS FOR PRECAST CONCRETE SHEAR WALLS



TU Delft

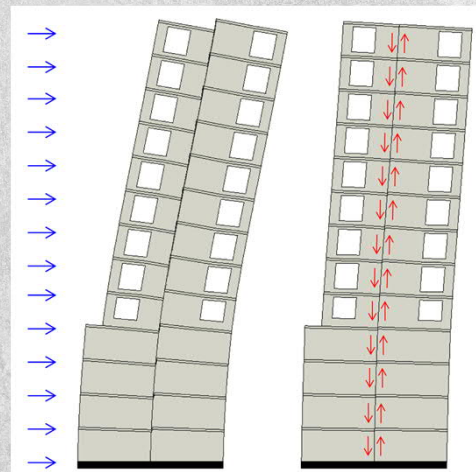
dr. ir. Dick van Keulen
INGENIEURSTUDIO DCK

Prefab verbindingen



Verbindingseigenschappen:

- Afschuifcapaciteit
- Afschuifstijfheid



zonder afschuifverbinding
"open voeg"

met afschuifverbinding

TU Delft

INGENIEURSTUDIO DCK 2

Vullen verticale voegen

“Open voeg” wordt gevuld met:

- Voegmortel met behulp van een mortelpomp

Groot voordeel: geen bekisting nodig!

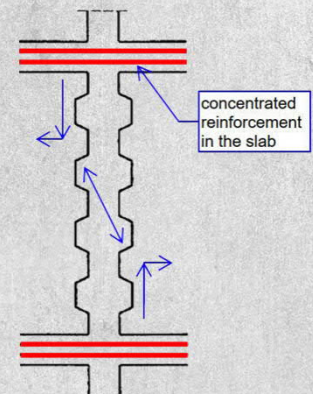
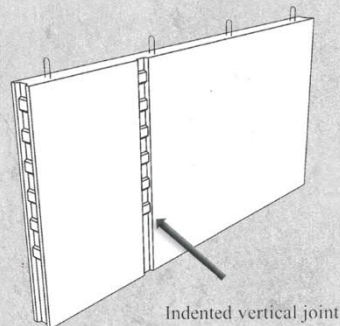
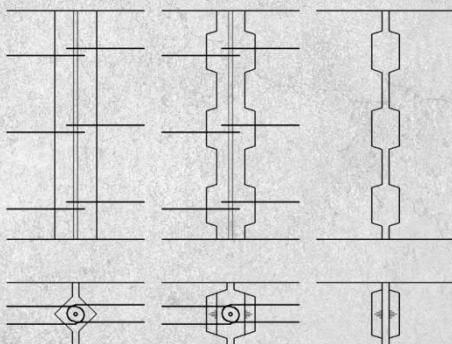
Mortel is een hoogwaardig product met constructieve eigenschappen!

Kunnen we een afschuifverbinding creëren door simpelweg een profiel aan de aansluitvlakken toe te voegen?



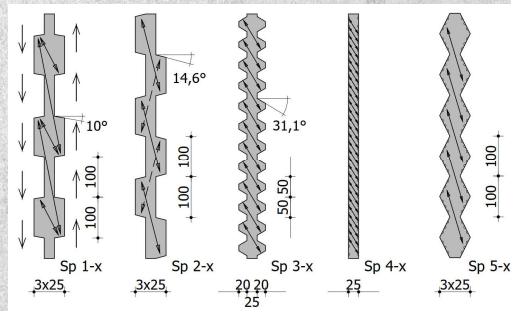
Smalle Verticale Mortelverbindingen

- Voegverbindingen met en zonder wapeningsstaven
- Concept met trekbanden in de vloeren



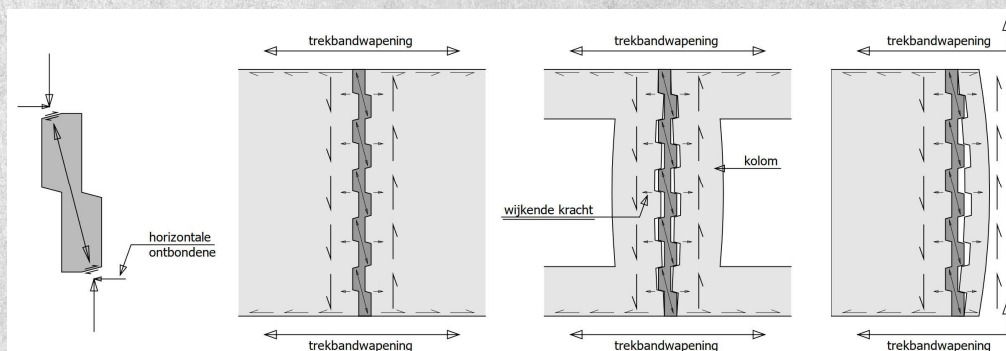
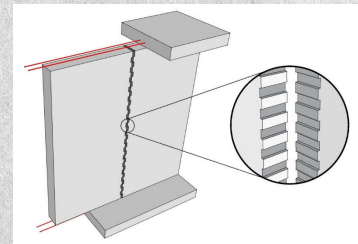
Smalle Verticale Mortelverbindingen

- 5 mortelvoegverbindingen ontwikkeld en beproefd
- Geprofileerde aansluitvlakken tussen beton en mortel
- Voor "positieve" en "negatieve" schuifkrachten
- Schuifkrachten worden doorgegeven via drukdiagonalen

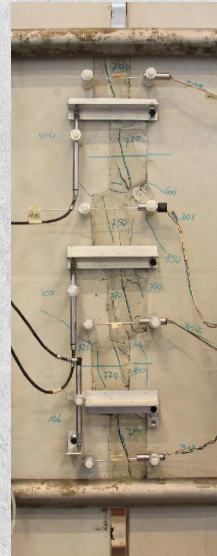
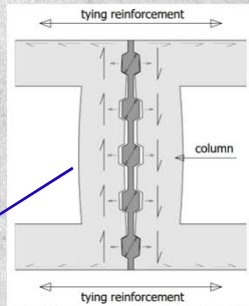
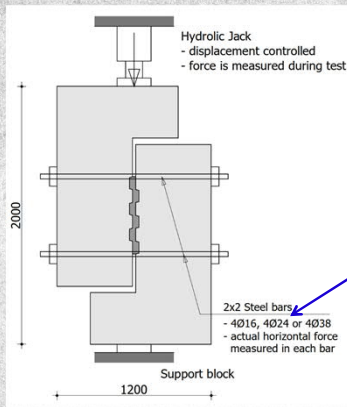


Smalle Verticale Mortelverbindingen

- Horizontale ontbondene en wijkende kracht
- Wijkstijfheid afhankelijk van buigstijfheid kolom of dwarswand
- Effect moet meegenomen worden in het onderzoek

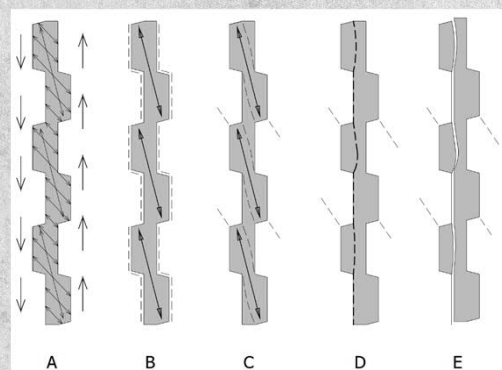
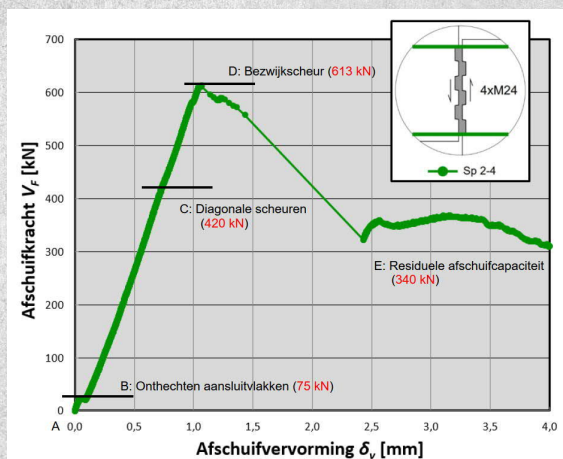


Experimenten



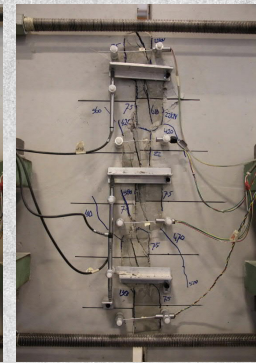
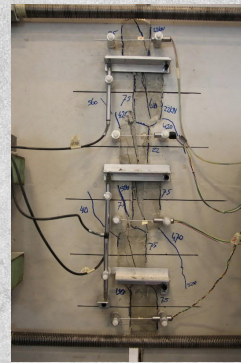
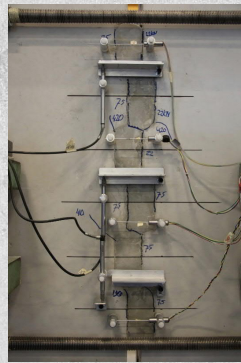
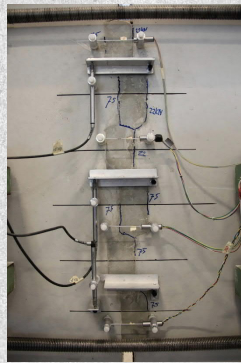
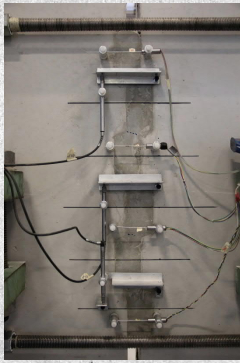
Resultaten

- Afschuifgedrag van de SSK-mortelverbinding (Sp 2-4)



Resultaten

- Afschuifgedrag van de SSK-mortelverbinding (Sp 2-4)



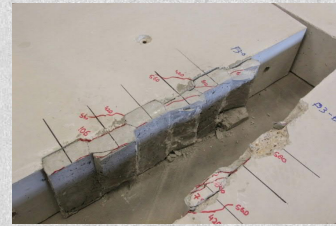
75 kN

420 kN

613 kN

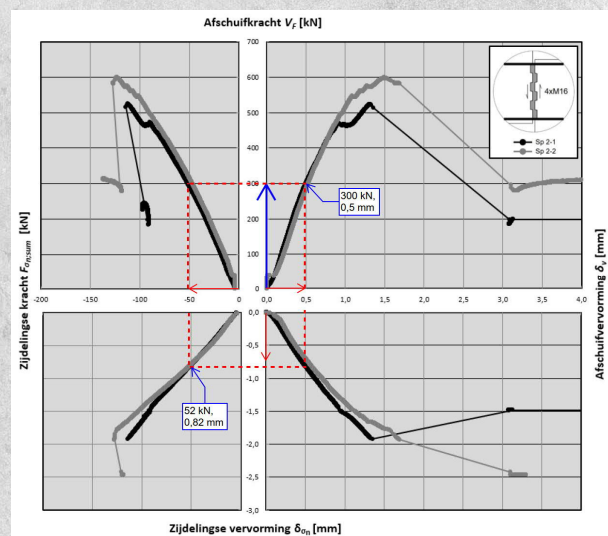
340 kN (residueel)

Afschuifkracht bij bezwijken = 613,2 kN

INGENIEURSTUDIO **DCK** 9

Analyse

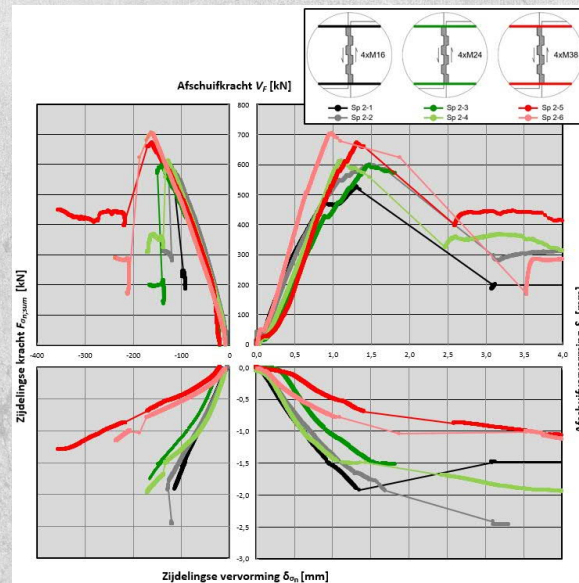
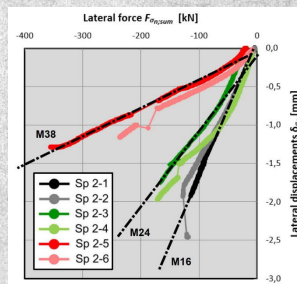
- Zijdelingse (wijkende) krachten en vervormingen zijn ook gemeten
- Alle krachten en vervormingen gecombineerd in één diagram
- Resultaten van twee identieke verbindingen
- Effect van een toenemende afschuifkracht:
 - Toename afschuif- en zijdelingse vervormingen
 - Toename zijdelingse krachten

INGENIEURSTUDIO **DCK** 10

Analyse

Effect van de toename horizontale stijfheid k_h :

- M16 → M24 → M38
- Toename afschuifstijfheid k_v
- Toename afschuifcapaciteit $V_{F,U}$
- Afname zijdelingse vervormingen δ_{σ_n}

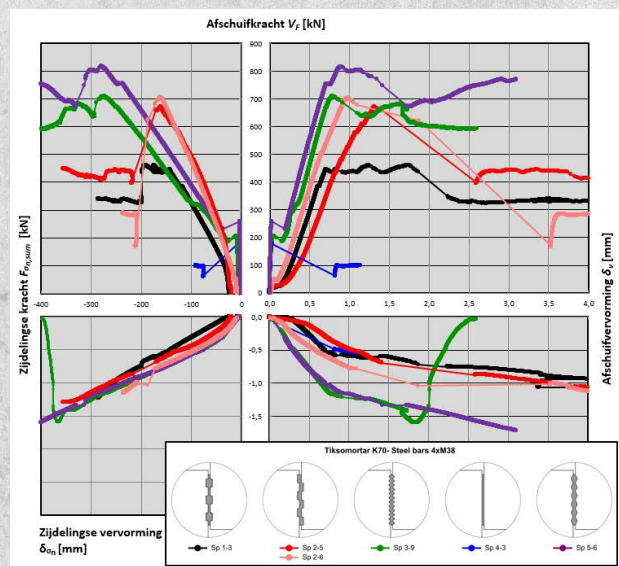


Analyse

Effect van de profilering:

- Sp 3-9, Sp 4-3 en Sp 5-6 onthechten bij hogere afschuifkrachten V_F vanwege opruwing / fijne profilering
- Initieel hoge afschuifstijfheid als gevolg van adhesieve hechting gemeten
- Wordt echter bedreigd door gevoeligheid voor onthechten
- SP 4-3 bezwijkt bij direct onthechten ($V_{F,U}$)
- Niet bruikbaar als mortelverbinding in verticale voegen

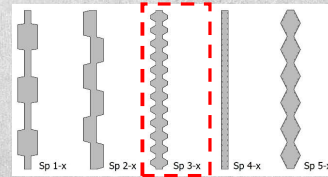
Voor uitgebreide analyse → zie proefschrift



Beoordeling

Secant afschuifstijfheden:

- Gekartelde verbinding Sp 3-x levert relatief lage afschuifstijfheden (166-350 kN/mm) bij lage horizontale stijfheden (M16 en M24)
- Daardoor is gekartelde verbinding minder geschikt als verticale mortelverbinding

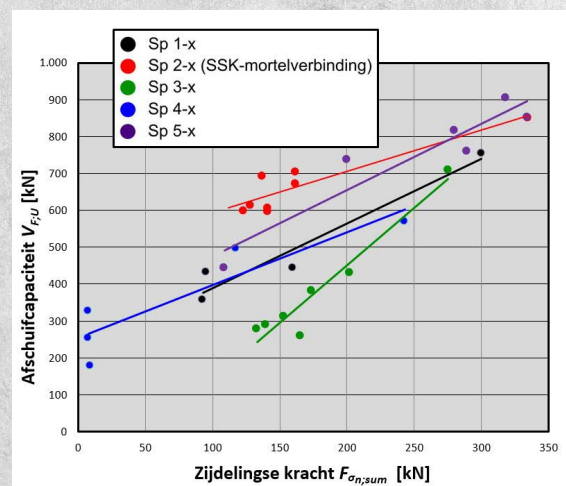
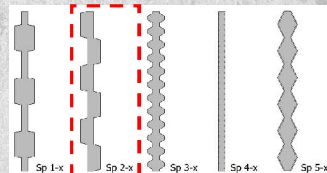


Spec.	Steel bars	Shear stiffness [kN/mm]	Spec.	Steel bars	Shear stiffness [kN/mm]
1-1	(M24)	420	3-1	(M16)	166
1-2	(M24)	451	3-2	(M16)	205
1-3	(M38)	626	3-3	(M16)	197
			3-4	(M16)	204
2-1	(M16)	401	3-5	(M24)	264
2-2	(M16)	403	3-6	(M24)	350
2-3	(M24)	406	3-7	(M38)	530
2-4	(M24)	552	3-8	(M38)	645
2-5	(M38)	514	3-9	(M38)	910
2-6	(M38)	718	5-1	(M16)	388
2-9	(M24)	356	5-2	(M24)	464
			5-3	(M38)	548
			5-6	(M38)	908

Beoordeling

Afschuifcapaciteiten $V_{F,U}$:

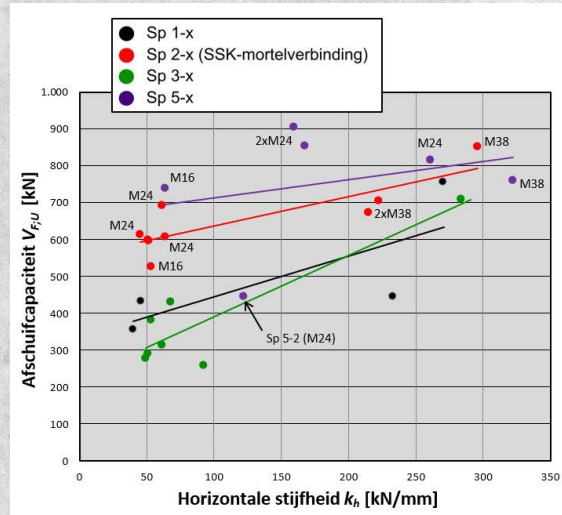
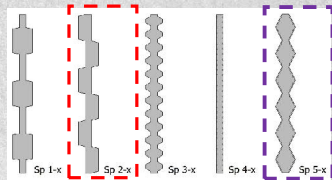
- Relatie Afschuifcapaciteiten – Zijdelingse krachten
- Lineaire trendlijnen toegevoegd
- De beste prestaties voor de hoogste afschuifcapaciteiten bij lage zijdelingse krachten.
- Dit vraagt minder tegendruk van prefab betonwanden en trekbanden in vloeren
- SSK-mortelverbinding: bij een lage zijdelingse kracht levert de hoogste afschuifcapaciteiten $V_{F,U}$



Beoordeling

Afschuifcapaciteiten V_{FU} :

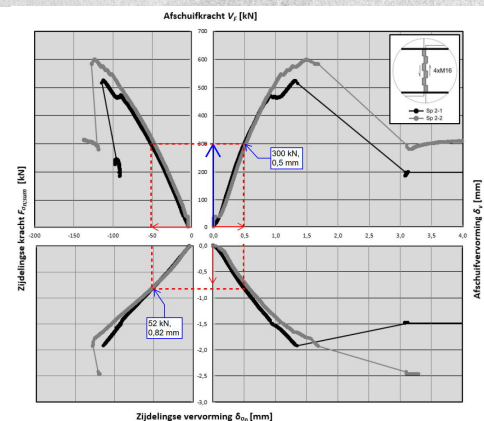
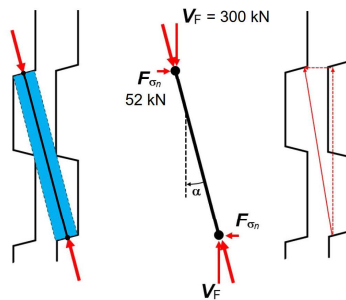
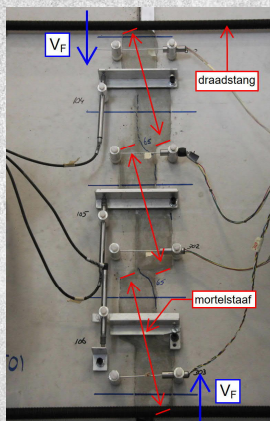
- Relatie Afschuifcapaciteiten – Horizontale stijfheid k_h
- De beste prestatie voor de hoogste afschuifcapaciteiten met lage behoefte aan horizontale stijfheid
- De hoogste afschuifcapaciteit wordt geleverd door de geprofileerde en opgeruwde mortelverbinding (Sp 5-x)
 - Alleen als hoofdscheur door mortelvulling loopt, dus niet (deels) via aan het hechtvlak mortel-beton zoals waargenomen bij Sp 5-2
 - Opruwing is moeilijk reproduceerbaar te maken in prefab betonfabrieken
 - Zichtbare scheuren bij lage afschuifkrachten
- SSK-mortelverbinding: beoordeeld als meest geschikte verbinding



INGENIEURSTUDIO **DC**K 15

Modelvorming

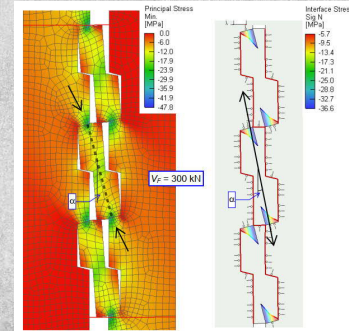
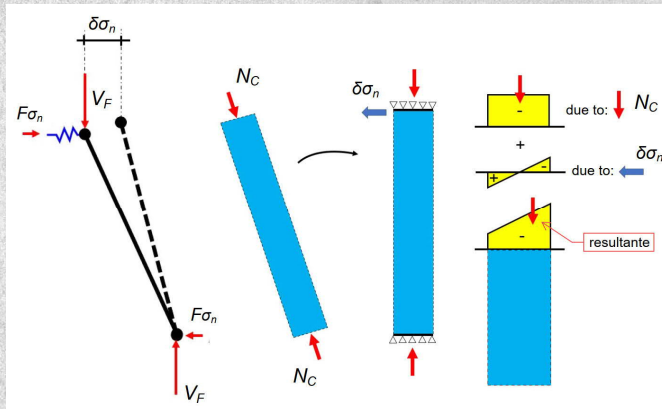
Werking drukdiagonaal in de mortelvulling



INGENIEURSTUDIO **DC**K 16

Modelvorming

Werking drukdiagonaal in de mortelvulling



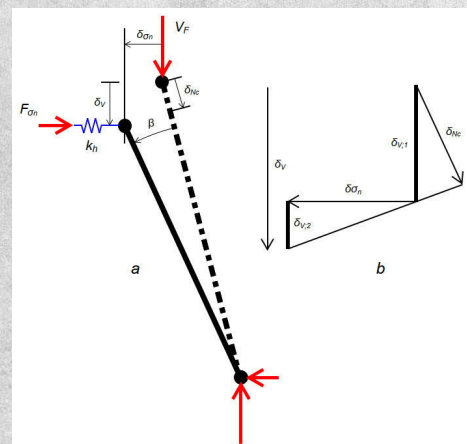
Modelvorming

Werking vervormingen van een drukstaafmodel:

- Verkorting δ_{N_C} als gevolg van drukkracht N_C
- Horizontale verplaatsingen $\delta\sigma_n$ door verlenging draadstangen 4xM16
- Pendelstaaf roteert over hoek β

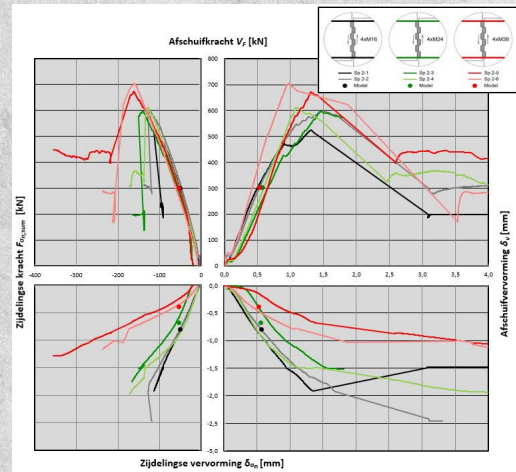
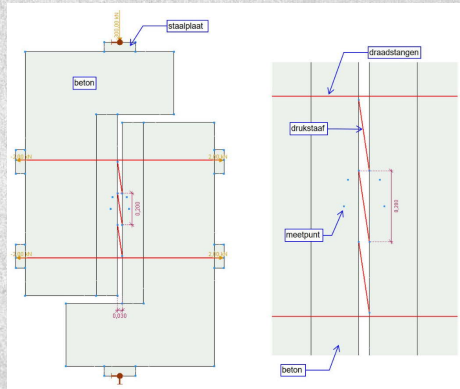


- Kortom, pendelstaaf verkort en roteert



Modelvorming

- Simulatie van de resultante diagonale kracht met pendelstaafmodel
- Voorwaarde: simulatiemodel voorspelt verbindingsgedrag bij verschillende stijfheden M16, M24 en M38



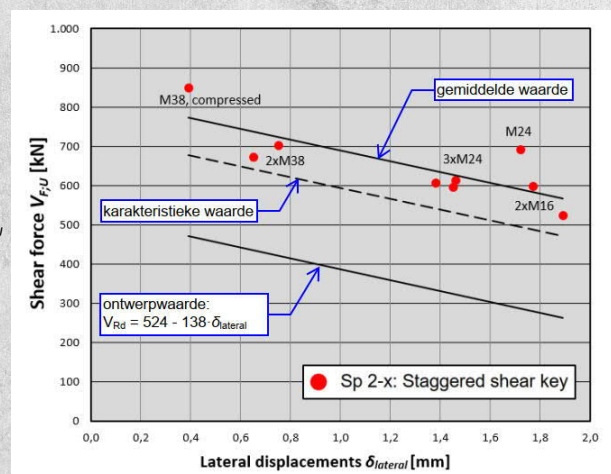
INGENIEURSTUDIO **DCK** 19

Modelvorming

Voorspellen afschuifcapaciteit $V_{F,U}$

- Afschuifcapaciteit afhankelijk van de zijdelingse effecten:
 - Horizontale stijfheid k_h
 - Initiele drukspanning
- Effect van beide variabelen uitgedrukt in:
 - Zijdelingse verplaatsing $\delta_{lateral}$
- Een hogere $\delta_{lateral}$ levert een hogere afschuifcapaciteit $V_{F,U}$
- Voorspellen m.b.v. lineaire regressie en een omrekening naar ontwerpwaarde V_{Rd}

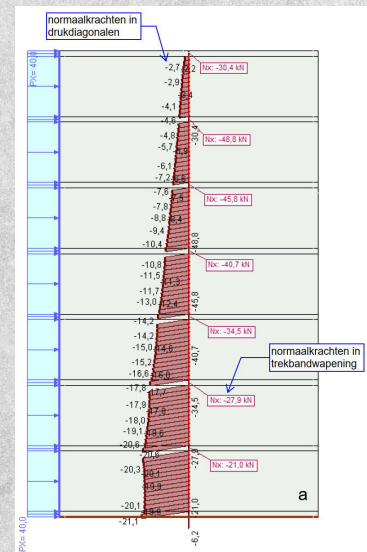
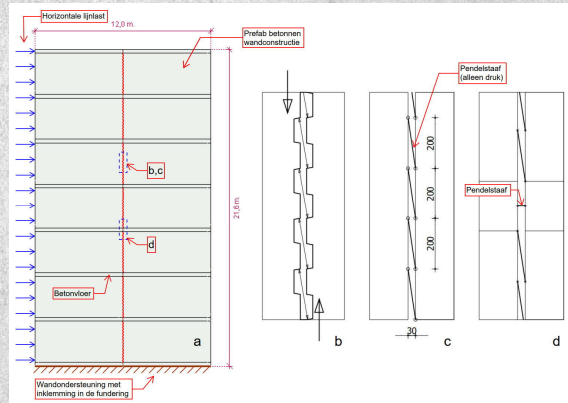
$$V_{Rd} [\text{kN}/3 \text{ shear keys}] = 524 - 138 \cdot \delta_{lateral}, \quad \delta_{lateral} < 2,0 \text{ mm}$$



INGENIEURSTUDIO **DCK** 20

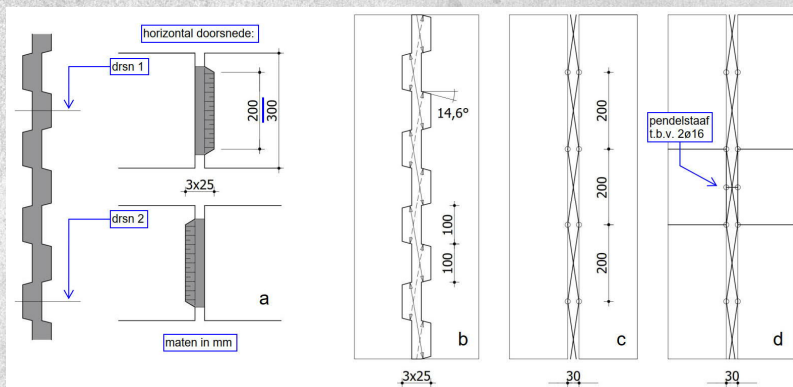
Verdiepingshoge mortelverbindingen

- Uit onderzoek blijkt dat drukdiagonalen vrijwel onafhankelijk van elkaar functioneren
- Drukstaafbenadering kan worden toegepast tussen wandelementen

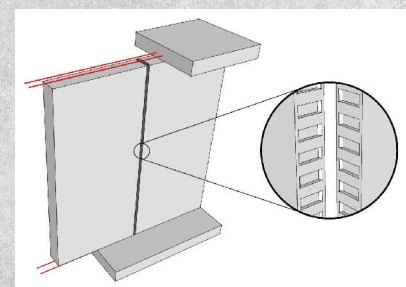


Case studie

- Toegepast in geprefabriceerd betonnen wandschijven



trekbandwapening	EA_{tr} [N]
2Ø12	$4,87 \cdot 10^6$
4Ø12	$9,74 \cdot 10^6$
2Ø16	$6,95 \cdot 10^6$
4Ø16	$13,89 \cdot 10^6$
2Ø20	$9,14 \cdot 10^6$
4Ø20	$18,29 \cdot 10^6$



Case studie

Case studie met een raamwerk:

- Maximale uitbuiging $eX_{\max}$ opgelegd (BGT)
- Veroorzaakt de hoogst mogelijke afschuifkrachten in SSK-mortelverbinding
- Uit rekenmodel volgt wijkende vervorming:

$$\delta_{\text{lateral}} = (5,5 - 4,6) \times 1,5 \text{ (UGT)} = 1,35 \text{ mm} < 2,0 \text{ mm}$$

$$V_{Rd} [\text{kN / shear key}] = k_1 \cdot \frac{1}{3} (524 - 138 \cdot \delta_{\text{lateral}}), \text{ waarbij } \delta_{\text{lateral}} < 2,0 \text{ mm}$$

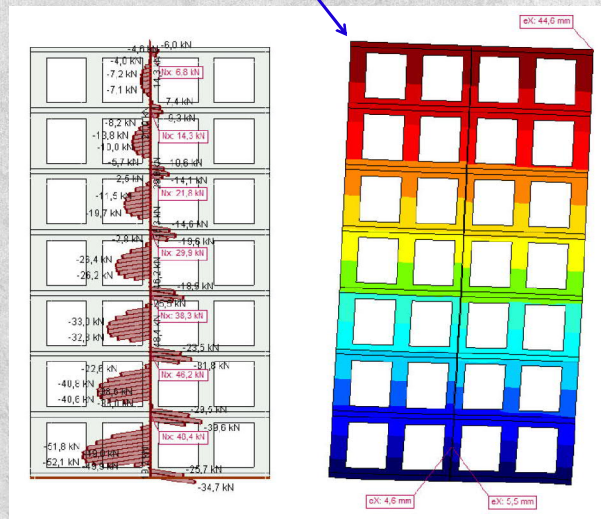
$$V_{Rd} = 0,8 \cdot \frac{1}{3} (524 - 138 \cdot 1,35) = 90,0 \text{ kN / shear key}$$

$$V_{Ed} = 78 \text{ kN} < 90,0 \text{ kN}$$

- Factor $k_1 = 0,8$ reductie i.v.m. vullingsgraad



$$eX_{\max} = H_{\text{csw}}/500$$

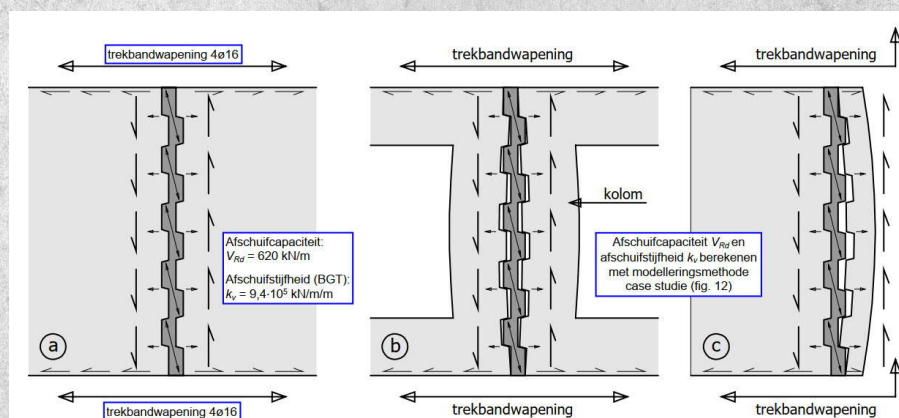


INGENIEURSTUDIO **DCK** 23

Toepassen in de praktijk

Eigenschappen SSK-mortelverbinding voor ontwerpfase:

- Gebruik conservatieve Afschuifcapaciteit V_{Rd} en Afschuifstijfheid k_v



INGENIEURSTUDIO **DCK** 24

Toepassen in de praktijk

Vulproeven noodzakelijk:

- opleiden bouwplaatsmedewerkers



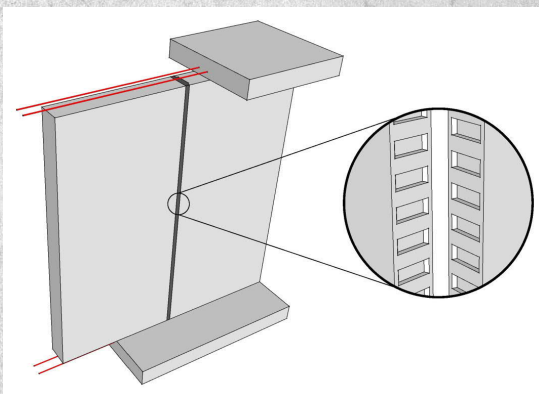
TUDelft



INGENIEURSTUDIO **DCK** 25

Smalle Verticale Mortelverbindingen

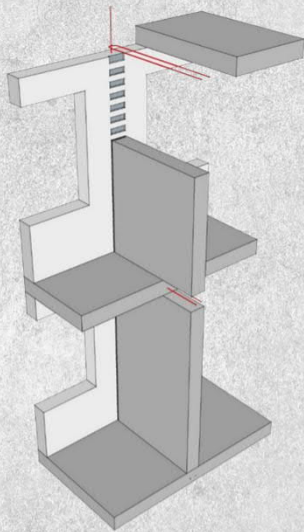
- SSK-mortelverbinding met trekbanden in de vloeren



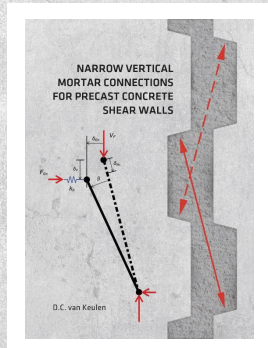
TUDelft



INGENIEURSTUDIO **DCK** 26



Proefschrift:



Cement-artikelen:



Beste Cement-artikel 2025

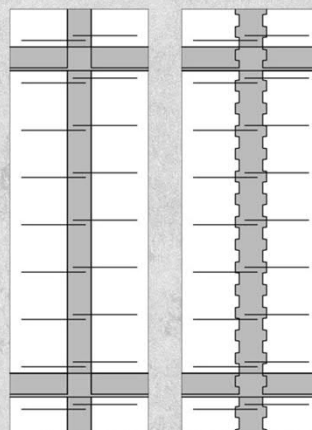
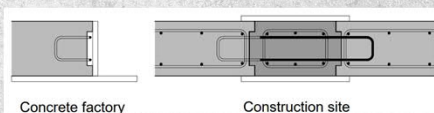
Bedankt voor uw aandacht!



Prefab verbindingen

Continue afschuifverbindingen:

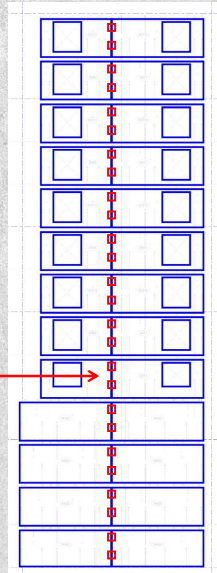
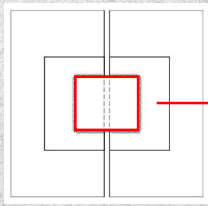
- lusverbindingen zonder of met
- profilering in aansluitvlak (shear keys)
- erg arbeidsintensief !



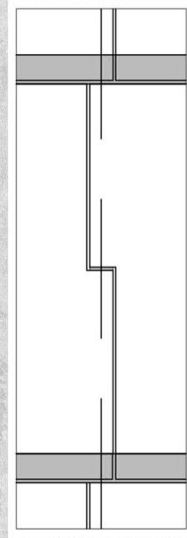
Prefab verbindingen

Discrete Verbindingen:

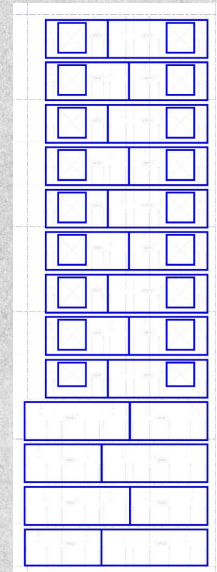
- Lasplaten:



Lasplaten



Verbanden



In verband geplaatste elementen
met constructief "open voeg"

Vullen verticale voegen

Vultest van de verticaal geprofileerde mortelvoeg met mortelpomp

